

## PATENT COOPERATION TREATY

From the INTERNATIONAL BUREAU

-PCT

NOTIFICATION CONCERNING  
SUBMISSION OR TRANSMITTAL  
OF PRIORITY DOCUMENT

(PCT Administrative Instructions, Section 411)

To:

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED  
INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY  
INTELLECTUAL PROPERTY DIVISION  
Tsukuba Central 2  
1-1, Umezono 1-chome  
Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8568

Date of mailing (day/month/year) 12 August 2003 (12.08.03)	
Applicant's or agent's file reference -32803025	IMPORTANT NOTIFICATION
International application No. PCT/JP03/08649	International filing date (day/month/year) 08 July 2003 (08.07.03)
International publication date (day/month/year) Not yet published	Priority date (day/month/year) 09 July 2002 (09.07.02)
Applicant NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY et al	

1. The applicant is hereby notified of the date of receipt (except where the letters "NR" appear in the right-hand column) by the International Bureau of the priority document(s) relating to the earlier application(s) indicated below. Unless otherwise indicated by an asterisk appearing next to a date of receipt, or by the letters "NR", in the right-hand column, the priority document concerned was submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b).
2. This updates and replaces any previously issued notification concerning submission or transmittal of priority documents.
3. An asterisk(\*) appearing next to a date of receipt, in the right-hand column, denotes a priority document submitted or transmitted to the International Bureau but not in compliance with Rule 17.1(a) or (b). In such a case, the attention of the applicant is directed to Rule 17.1(c) which provides that no designated Office may disregard the priority claim concerned before giving the applicant an opportunity, upon entry into the national phase, to furnish the priority document within a time limit which is reasonable under the circumstances.
4. The letters "NR" appearing in the right-hand column denote a priority document which was not received by the International Bureau or which the applicant did not request the receiving Office to prepare and transmit to the International Bureau, as provided by Rule 17.1(a) or (b), respectively. In such a case, the attention of the applicant is directed to Rule 17.1(c) which provides that no designated Office may disregard the priority claim concerned before giving the applicant an opportunity, upon entry into the national phase, to furnish the priority document within a time limit which is reasonable under the circumstances.

<u>Priority date</u>	<u>Priority application No.</u>	<u>Country or regional Office or PCT receiving Office</u>	<u>Date of receipt of priority document</u>
09 July 2002 (09.07.02)	2002-199434	JP	25 July 2003 (25.07.03)
08 Octo 2002 (08.10.02)	2002-294665	JP	25 July 2003 (25.07.03)

The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland Facsimile No. (41-22) 338.90.90	Authorized officer Patricia Blanchet (Fax 338 9090) Telephone No. (41-22) 338 9655
--	--

日 本 国 特 許  
JAPAN PATENT OFFICE

PCT/JP03/08649

REC'D 25 JUL 2003

08.07.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年10月 8日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-294665

[ ST.10/C ]:

[ JP 2002-294665 ]

出 願 人

Applicant(s):

独立行政法人産業技術総合研究所

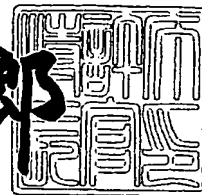
PRIORITY  
DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 6月27日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3051260

【書類名】 特許願  
【整理番号】 328-02430  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 G06F 19/00

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内

【氏名】 宮下 和雄

【特許出願人】

【識別番号】 301021533

【氏名又は名称】 独立行政法人産業技術総合研究所

【代表者】 吉川 弘之

【電話番号】 0298-61-3280

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002-199434

【出願日】 平成14年 7月 9日

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 生産計画作成システム及び方法、並びにプログラム

【特許請求の範囲】

【請求項1】 生産工程モデル及び生産規則を用いて、事象ベースシミュレータが工場内の製品の動きをシミュレートすることにより生産計画の立案を行う生産計画作成システムにおいて、

一定時間ごとの生産工程の状況を計算する時間間隔ベースシミュレータと、  
該時間間隔ベースシミュレータを用いて前記生産規則を自動的に導出する規則生成器と、

を備えることから成る生産計画作成システム。

【請求項2】 前記生産規則は、人工知能技術を用いて逐次的最適化手法に基づく機械学習手法により生成する請求項1に記載の生産計画作成システム。

【請求項3】 前記規則生成器は、ニューラルネットワークを用いて構成される請求項1又は2に記載の生産計画作成システム。

【請求項4】 生産工程モデル及び生産規則を用いて、事象ベースシミュレータが工場内の製品の動きをシミュレートすることにより生産計画の立案を行う生産計画作成方法において、

一定時間ごとの生産工程の状況を計算する時間間隔ベースシミュレータと、該時間間隔ベースシミュレータを用いて前記生産規則を自動的に導出する規則生成器とを備え、

該時間間隔ベースシミュレータが生産計画を幾度も繰り返し立案することにより、該規則生成器に、逐次的最適化手法に基づく機械学習を応用することで、前記生産規則を自動生成し、生成された生産規則を該事象ベースシミュレータが使用することで生産計画を立案する、

ことから成る生産計画作成方法。

【請求項5】 生産工程モデル及び生産規則を用いて、事象ベースシミュレータが工場内の製品の動きをシミュレートすることにより生産計画の立案を行う生産計画作成プログラムにおいて、

一定時間ごとの生産工程の状況を計算する時間間隔ベースシミュレータと、該

時間間隔ベースシミュレータを用いて前記生産規則を自動的に導出する規則生成器とを備え、

該時間間隔ベースシミュレータが生産計画を幾度も繰り返し立案することにより、該規則生成器に、逐次的最適化手法に基づく機械学習を応用することで、前記生産規則を自動生成し、生成された生産規則を該事象ベースシミュレータが使用することで生産計画を立案する、

各手順を実行する生産計画作成プログラム。

【請求項 6】 製造工程の中間在庫量を繰り返し計算するシミュレータと、前記シミュレータの計算結果が許容範囲以下になるように前記シミュレータの計算に使用するパラメータの値を決定し、該パラメータの値に基づき前記製造工程の生産制御を行う制御システムと

を備えたことを特徴とする生産システム。

【請求項 7】 請求項 6 に記載の生産システムにおいて、前記シミュレータは請求項 1 に記載の時間間隔ベースシミュレータおよび請求項 1 に記載の規則生成器を有し、前記シミュレータは該生成器により生成された生産規則を使用して製造工程の中間在庫を繰り返し計算することを特徴とする生産システム。

【請求項 8】 請求項 6 に記載の生産システムにおいて、前記制御システムは、製造工程内の実際の中間在庫量を計測する計測装置を有し、該計測装置により一定の周期内で計測された製造工程内の実際の中間在庫量が前記シミュレータの計算結果と等しくなると、前記制御システムは、製造工程の生産を停止させ、次の周期で生産を再開することを特徴とする生産システム。

【請求項 9】 請求項 8 に記載の生産システムにおいて、前記一定の周期は可変設定可能であることを特徴とする生産システム。

【請求項 10】 シミュレータにより製造工程の中間在庫量を繰り返し計算し、

前記シミュレータの計算結果が許容範囲以下になるように前記シミュレータの計算に使用するパラメータの値を該シミュレータにおいて決定し、

前記パラメータの値に基づき、制御システムにより前記製造工程の生産制御を行う

ことを特徴とする生産方法。

【請求項 1 1】 請求項 1 0 に記載の生産方法において、前記シミュレータは請求項 1 に記載のベースシミュレータおよび請求項 1 に記載の規則生成器を有し、前記シミュレータは該生成器により生成された生産規則を使用して製造工程の中間在庫量を繰り返し計算することを特徴とする生産方法。

【請求項 1 2】 請求項 1 0 に記載の生産方法において、前記制御システムは、製造工程内の実際の中間在庫量を計測する計測装置を有し、該計測装置により一定の周期内で計測された製造工程内の実際の中間在庫量が前記シミュレータの計算結果と等しくなると、前記制御システムは、製造工程の生産を停止させ、次の周期で生産を再開することを特徴とする生産方法。

【請求項 1 3】 請求項 1 2 に記載の生産方法において、前記一定の周期は可変設定可能であることを特徴とする生産方法。

【請求項 1 4】 生産システムにより実行するプログラムであって、  
製造工程の中間在庫量を繰り返し計算するステップと、  
該ステップの計算の結果が許容範囲以下になるように前記計算に使用するパラメータの値を決定するステップと、  
前記パラメータの値に基づき、前記製造工程の生産制御を行うステップと、  
を備えたことを特徴とするプログラム。

【請求項 1 5】 請求項 1 4 に記載のプログラムにおいて、前記生産システムは、請求項 1 に記載のベースシミュレータおよび請求項 1 に記載の規則生成器を有し、前記シミュレータ該生成器により生成された生産規則を使用して製造工程の中間在庫量を繰り返し計算するステップを前記シミュレータにより実行することを特徴とするプログラム。

【請求項 1 6】 請求項 1 4 に記載のプログラムにおいて、前記生産システムは、製造工程内の実際の中間在庫量を計測する計測装置を有し、該計測装置により一定の周期内で計測された製造工程内の実際の中間在庫量が前記シミュレータの計算結果と等しくなると、製造工程の生産を停止させ、次の周期で生産を再開するステップをさらに有することを特徴とするプログラム。

【請求項 1 7】 請求項 1 6 に記載のプログラムにおいて、前記一定の周期

は可変設定可能であることを特徴とするプログラム。

【請求項 1 8】 請求項 1 4 から請求項 1 7 までのいずれかに記載のプログラムを記録したことを特徴とする記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、工場などでの生産計画を自動的に立案する計算機システムに係り、高品質な計画立案の際に必要なとされる適切な生産規則を人手ではなく計算機により自動的に高速生成する機能を有する生産計画作成システム及び方法並びにプログラムに関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

工場等における生産計画の作成を支援もしくは自動化する生産計画システムは過去に多数の提案があり、既に国内外で多くの製品が商用化されており、また多くの製造会社が独自のシステムを開発して自社で使用している。

【0 0 0 3】

従来、それらの多くの生産計画システムは設備能力を無限大と仮定するなど生産工程における制約を単純化してモデルを作成し、単純化されたモデルに対して線形計画法などの数理的最適化手法を適用して概略解を求めるアプローチを採っている。

【0 0 0 4】

半導体、液晶などに代表されるハイテク部品の製造工程は、非常に多くの繰り返し工程で構成されており、自動車などの製品の製造工程に比べると格段に大規模かつ複雑なものであり、通常、その工程数は数百、製造リードタイムは数ヵ月にも及ぶ（たとえば、非特許文献 1 参照）。さらに、それらハイテク部品産業では製品競争力を高めるために新たな製造プロセス技術が次々と開発され、それら最新鋭の製造プロセスが時を移さず実際の製品生産に適用されるため、製造現場において製造プロセスが安定して稼働することは稀であり、ハイテク部品の生産計画立案に当っては製造機械の故障や製品の品質不良など、製造における変動要

因を常に考慮する必要がある。

【 0 0 0 5 】

したがって、ハイテク部品などのように多くの変動要因を製造工程に抱える製品の生産においては、成熟した製造工程を持つ自動車産業などで有効とされるカンバン型生産方式に見られるように中間在庫(WIP)をゼロにすることを目指すのではなく、機械故障に伴う製造能力の変化や品質不良に伴う廃棄やリワークなどの影響をできるだけ受けないで、安定的な製品産出を実現しうる最小限の適正在庫量を設定し、それを維持するように生産計画を立案し、製造を行うことが重要である。ただし、無駄な在庫を抑えるためには、その前提条件として精度の高い需要予測が必要である。現在、高精度な需要予測はハイテク産業のSCMにおける重要な課題とされ、米国の半導体業界では1年間程度の需要予測を22%以下の誤差で行うことが当面の希望的目標とされている（たとえば、非特許文献6参照）。

【 0 0 0 6 】

ハイテク部品の生産計画の立案に際しては、その製造工程が大規模複雑であるため数理的手法による最適化は計算時間の点で適用が困難であり、例えば半導体ウェーハ製造に関しては、従来からシミュレーション手法に基づくスケジューリングにおいて、様々なジョブ投入ルールやディスパッチングルールの有効性の検証が数多く行われてきた（たとえば、非特許文献5，7参照）。

【 0 0 0 7 】

しかしながら近年では、計算速度の向上や計算機価格の低下に伴って、現実の生産工程の精密なモデルに対して工程内の在庫の推移を忠実に事象ベースでシミュレート（各部品の状態変化、たとえば処理終了、ごとに工程の状況変化を計算する）することが可能になり、数多くの単純な生産規則に基づくシミュレーションを試行錯誤的に繰り返すことにより、その中で最も高品質な生産計画を選択するアプローチが、特に半導体製造などの非常に複雑な生産工程において、主流となっている。しかしながら、大規模で複雑な生産工程のシミュレーションには依然として多大な時間が必要とされるため、高品質な生産計画を立案する適切な生産規則を試行錯誤的に発見するのは困難である。従来の生産計画システムでは、この最も重要で困難な生産規則の発見に対する支援機能は備えられておらず、高



品質な生産計画を立案するには専ら生産計画立案作業者の熟練と勘とに頼らざるを得なかった。

【0008】

更に最近では、人工知能 (AI) 技術の進展により、計算機により自動的に適切な規則を生成する試みが行われ、生産計画問題に適用された研究事例 (例えば、"Learning scheduling control knowledge through reinforcements" Miyashita, K., International transactions in operational research, Vol.7, No.2, pp.125-138, 2000.、"Job-Shop Scheduling with Genetic Programming" Miyashita, K., Proc. of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, pp.505-512, 2000.、"階層型ニューラルネットワークを用いた動的ジョブショップスケジューリング-ロバストスケジューリングのための二段階学習法-"、江口他、スケジューリングシンポジウム, pp.89-94, 2001) もある。しかしながら、それらの手法を現実の大規模な生産工程を対象にした生産計画問題に適用するのは、規則の学習に要する計算時間の点から実現困難であり、適切な生産規則の自動生成機能を備えた実用的な生産計画システムは未だ存在しない。

【0009】

さらに、従来のシミュレーション方式に基づくスケジューリングには以下のような問題点がある (非特許文献 8 参照)。

- ・適切なプロダクトミックスや投入レートを決定する際に、実際の製造工程における変動を考慮して十分な試行錯誤による検討を行うためには、依然として計算時間がかかり過ぎる。

- ・シミュレーションによって決定された作業内容が、製造実施現場における種々の変動要因により現実の製造状況から乖離しやすく、またそうした事態に対応するための有効な作業指示もスムーズに行えない。

それらの問題に対処するため、ハイテク部品の生産計画立案には、より高速で、ロバストな生産指示が可能なシミュレーション手法が必要である。

【0010】

【非特許文献 1】

Linda F Atherton and Robert W. Atherton, Wafer fabrication: Fa

ctory performance and Analysis. Kluwer Academic Publishers, 1995

【0 0 1 1】

【非特許文献 2】

L. Gong and H. Matsuo. Control Policy for manufacturing system with random yield and rework. Journal of Optimization Theory and Applications, 95(1):149-175, 1997.

【0 0 1 2】

【非特許文献 3】

Wallace J. Hopp and Mark L. Spearman. FACTORY PHYSICS. McGraw-Hill, second edition, 2000.

【0 0 1 3】

【非特許文献 4】

J. D. C. Little. Proof of the queueing formula  $L = \lambda W$ . Operations Research, 9:383-387, 1961.

【0 0 1 4】

【非特許文献 5】

Oliver Rose. The shortest processing time first (SPTF) dispatching rule and some variants in semiconductor manufacturing. In Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, pages 1220-1224. INFORMS, 2001.

【0 0 1 5】

【非特許文献 6】

Robin Roundy. Report on practices related to demand forecasting for semiconductor products. Technical report, School of Operations Research and Industrial Engineering, Cornell University, 2001.

【0 0 1 6】

【非特許文献 7】

Lawrence M. Wein. Scheduling semiconductor wafer fabrication. IEEE transaction on Semiconductor Manufacturing, 1(3):115-130, 1988.

【0017】

【非特許文献8】

荒川雅弘，冬木正彦，井上一郎．APSにおける最適化志向シミュレーションベーススケジューリング法の検討．スケジューリングシンポジウム2001講演論文集，pp.47-52，スケジューリング学会，2001

【0018】

【非特許文献9】

柏瀬博幸．半導体の生産スケジューリングの方法と高速シミュレーションモデル．修士論文，筑波大学，2002．

【0019】

【発明が解決しようとする課題】

従来の生産計画手法では、高品質な生産計画を作成するための適切な生産規則は予め人間が与えなければならないが、大規模で複雑な生産工程における適切な生産計画規則を人手によって作成するのは困難である。

【0020】

また、従来の人工知能技術における学習手法を単純に適用するだけでは、半導体などの大規模複雑な生産工程に対して規則生成を自動化するためには時間がかかりすぎて、実用的ではない。

【0021】

本発明は、主に、大規模複雑な生産工程を有する半導体などの製品の生産効率を大幅に改善することを目的としている。

【0022】

従たる目的の1つは大規模複雑な生産工程に対しても、高品質な生産計画を立案できる生産規則を高速に自動生成するための機能を備えた生産計画システムを実現することにより、大規模複雑な生産工程を有する半導体などの製品の生産効率を大幅に改善することを目的としている。

【0023】

従たる他の目的の1つは、中間在庫の量を所定範囲内に収めるように生産工程を制御して製品の生産効率を大幅に改善することを目的としている。

【 0 0 2 4 】

## 【課題を解決するための手段】

本発明の生産計画作成システム及び方法並びにプログラムは、生産工程モデル及び生産規則を用いて、事象ベースシミュレータが工場内の製品の動きをシミュレートすることにより生産計画の立案を行う。一定時間ごとの生産工程の状況を計算する時間間隔ベースシミュレータと、該時間間隔ベースシミュレータを用いて前記生産規則を自動的に導出する規則生成器とを備える。この時間間隔ベースシミュレータを用いて生産計画を高速に幾度も繰り返し立案することにより、規則生成器が逐次の最適化手法に基づく機械学習を応用して、生産規則を効率的に自動生成することができ、これにより生成された生産規則を用いて事象ベースシミュレータが高品質な生産計画を立案する。

【 0 0 2 5 】

本発明は、さらに製造工程の中間在庫量を繰り返し計算するシミュレータと、前記シミュレータの計算結果が許容範囲以下になるように前記シミュレータの計算に使用するパラメータの値を決定し、該パラメータの値に基づき前記製造工程の生産制御を行う制御システムとを備えたことを特徴とする。

【 0 0 2 6 】

## 【発明の実施の形態】

## (第 1 の実施形態)

以下本発明の好適な実施の形態について、図面に基づいて説明する。図1は、本発明に係る生産計画システムの一実施の形態を示したブロック構成図である。生産工程モデル2は、製品を生産している工場において製造に関連する情報を計算機内のモデルとして表現したものである。ここでモデル化されるのは、製造装置に関する情報（装置の種類、台数、能力、故障率など）、製造作業に関する情報（シフト、能力、人数など）、製品の製造方法に関する情報（使用する機械、作業員、加工時間、搬送時間、良品率、再加工程度など）、製品に関する情報（生産量、投入時間、納期など）などの情報である。これらの情報に基づいて、計算機内に現実の工場に関する詳細なモデルを作成し、そのモデルを用いて工場内の製品の動きを計算機によりシミュレートし、生産計画立案者はシミュレーショ

ン結果から、いつ投入した製品がいつ完成するか、各機械にはどの程度在庫が溜まるかなどの情報を得て、望ましい生産計画5の立案を行う。

## 【0027】

図1中のブロック1は生産計画システム全体を表わしている。生産工程モデル2は工場に存在する機械の性能、台数や、工場で生産される製品の工程や数量などを表現した工場の静的なモデルであり、その情報だけでは実際に工場内を物が流れて材料から製品へと動的に変化していく様子をシミュレートすることはできない。工場の動的な側面をモデル化するのは生産規則3である。生産計画システム1で必要とされる主たる生産規則3には大きく分けて2種類の規則がある。

## 【0028】

その一つは、製品の材料を投入するタイミングを決定する部品投入規則である。この規則としては、例えば一定間隔ごとに一定量の材料を投入する規則や、製品として出荷された分だけを新たに材料として投入する規則などがある。もう一つの重要な生産規則3は差立規則（もしくは、ディスパッチング規則）と呼ばれるものである。差立規則は、工場の生産機械前のバッファに複数の部品が加工待ちをしている際に、機械が加工可能な状態になった際に、どの部品を引き当てるのかを決定する規則である。差立規則としては、例えば先にバッファに入った部品を優先する（First In First Out）規則、納期が最も近い製品の部品を優先する（Earliest Due Date）規則など、数多くの規則がこれまでに提案されている（R. W. Conway 他、"Theory of Scheduling", Addison-Wesley(1986)）。これらの生産規則3は工場の動的な側面を全てコントロールするため、どのような生産規則3を用いるかで工場での生産の様子は大きく変化することになる。したがって、対象となる工場の生産工程モデル2に対して、どのような生産規則3を適用すると効率的な生産が実現するかを判断することが工場の生産管理者にとって最も重要な責務である。従来の生産計画システム1では、生産規則3は生産計画立案者が自ら入力することが前提とされており、それに対してユーザを支援する機能は、予め多数の一般的な規則を選択可能な形で準備しておく以上のことは実現されていない。

## 【0029】

生産工程モデル2および生産規則3が定義されると、それらの情報を用いて実際に工場における生産工程のシミュレーションを行うことができる。このシミュレーションを実行するのが事象ベースシミュレータ4である。事象ベースシミュレータ4では逐次的に内部クロックを進めていき、そのタイミングにおいて発生した変化（事象、イベントとも言う）に応じて、生産規則3を適用して生産工程における動的な変化をシミュレートする。例えば、ある時刻において、生産工程モデル2中の一つの機械における加工が終了する（即ち、事象ベースシミュレータ4内で、当該機械における現在加工中の部品について、加工開始時間加工時間を加えた値が現時刻に一致する）際には、その機械のパッファで加工を待っている部品の中から生産規則3中の差立規則を用いて次に加工する部品を引き当て、作業者や材料などの必要な条件が整っていれば加工を開始する。事象ベースシミュレータ4は、シミュレーション開始時間から終了時間まで上のような操作を行いながら内部クロックを進めていくことにより、その時間内で生じる工場内の変化を全て再現し、その結果を生産計画5として出力する。生産計画5には、時間軸に沿って工場中のそれぞれの機械がいつ、何の部品をどれだけの数量加工するのかという情報が記録される。更に、その情報に基づいて設備稼働率、生産リードタイム、納期遅れなど、生産実施に関係する様々な値が算出され、立案された生産計画5の品質として評価される。

## 【 0 0 3 0 】

これまで述べてきた、生産工程モデル2、生産規則3、事象ベースシミュレータ4、生産計画5は従来技術と何ら変わらないものである。本発明の特徴は生産計画システム1中に生産規則3を高速に自動生成するために、時間間隔ベースシミュレータ6と規則生成器7を備えることである。先に説明したように生産規則3は工場の動的な性質を決定する重要なものであり、その良し悪しが立案される生産計画5の品質の差となる。したがって、適切な生産規則3を高速に自動生成することは、工場における生産効率を著しく改善する効果がある。

## 【 0 0 3 1 】

人工知能(AI)技術を用いて、適切な生産規則3を生成するための基本原理は逐次的最適化である(T. Mitchell, "Machine Learning", McGraw-Hill (1997))。

即ち、ある生産規則3を用いて生産計画5を立て、立案された計画の品質を改善するように生産規則3の改良を行う、という処理を逐次的に繰り返すことによって、より適切な生産規則3を生成するというものである。しかしながら、このようなやり方には大きな問題が存在する。生産計画立案対象となる現実の工場は大規模複雑であるため、繰り返し生産計画5を立てるには膨大な計算時間が必要とされる。一方、一般に工場で生産される製品や使用される設備は不変ではなく、現代の高競争、多品種少量生産の生産環境ではむしろ短いサイクルで変更されるのが通常である。したがって、膨大な計算時間を費やして生産規則3を自動生成できたとしても、その規則を使用する際には既に工場の生産工程モデル2が変化していて、生成された生産規則3が有効でなくなる可能性が高く、そうした手法によって生成された生産規則3の現実的な実用性は低い。

## 【0032】

したがって、現実の生産現場に有効な生産計画システム1を実現するためには、現実の生産環境の変化と遊離しない適切なタイミングで有効な生産規則3を適宜生成しなければならない。逐次的最適化手法に基づく機械学習を応用した規則生成器7を用いて、生産規則3を効率的に自動生成するためには生産計画を幾度も繰り返し高速に立案できるシミュレータが必要である。それが図1中の時間間隔ベースシミュレータ6である。

## 【0033】

図2は時間間隔シミュレータ6の処理概要を示したフローチャートである。時間間隔シミュレータ6では、生産工程モデル2に含まれるデータを用いて生産計画5を立案するが、まず処理の開始にあたり必要なデータの設定及び初期化8を行う。図3に生産工程モデル2と生産計画5に含まれる製品12、工程13、機械14に関する具体的情報の内容を示す。データ初期化8においては、図3中の投入量、総生産量、生産量、需要量、仕掛量、稼働率など、最終的に立案された生産計画5に含まれるべきデータの初期化を行う。そして、図3中の所与条件で示された、受注レート、工程フロー、使用機械、処理時間、台数など、生産工程モデル2に記述された生産計画立案条件をデータファイルから読み込み、シミュレーションを実行するための時間間隔及び終了時間を設定する。

## 【0034】

図4は時間間隔ベースシミュレータ6の実行の様子を時間軸上に表したものである。時間間隔ベースシミュレータ6の実行に際しては、データ設定処理8で設定された時間間隔に従ってシミュレーション終了時間に至るまで生産状況更新10が繰り返し行われる(ステップ9)。ここで時間間隔とはシミュレーション実行の時間的詳細度を規定するもので、ここで定められた時間間隔内(例えば1時間)では工程間の在庫の移動は生じないと仮定する。そして、シミュレーションの実行は、この時間間隔ごとにシミュレータの内部時間を進めて、時間間隔ごと(ここでは時区15と呼ぶ)における生産の進捗の様子を計算することである。この時間間隔を適切に設定することにより、事象(またはイベントと呼ばれる)として生産工程内に在庫の移動が生じることにより頻繁に生産の進捗状況の更新を行う従来の事象ベースシミュレータ4に比べて大幅な計算量の削減が可能になり、シミュレーション結果の精度を保ちながら効率的にシミュレーションを実行することが可能になる。

## 【0035】

図5は生産状況更新10の処理概要を示すフローチャートである。時間間隔ベースシミュレータ6の生産状況更新10の処理に際しては、生産工程に含まれる全ての機械に対して、設定された時間間隔毎に生産される部品の量が計算される(ステップ16)。その際、まず直前の時区までに機械に投入された部品の内、現在までに加工が完了している部品の量を計算し、その部品に割り付けられていた機械能力を解放することにより、当該機械の稼働率の値を更新する(ステップ17)。その後、その機械で加工される全ての工程に対して、設定された時間間隔内で生産される部品の量が計算される(ステップ18)。その際には、まず現時区内における工程の生産需要量を算出する(ステップ19)。当該工程が、製品の先頭工程であれば、その需要量は先に説明した生産規則3中の部品投入規則によって計算される。当該工程が先頭工程でない場合は、その需要量は前工程の前時区での完成量と、前時区で当該工程に残された在庫量の和に等しく設定される。即ち、前時区で発生した前工程からの加工品は全て当該工程に移送され現時区で処理されるものとする。次に、そうして算出された需要量に対し、実際に実



現可能な生産量の計算を行う（ステップ20）。その際には、上で求められた生産需要量の内、現時区で利用可能な機械能力内で生産される量（即ち、機械台数×稼働率×時間間隔/処理時間）、および機械能力を超える需要量がある場合には次時区以降で処理される在庫量が計算される（ステップ21）。そして最後に、算出された生産量を生産するために割り付けるべき機械能力（即ち、時間間隔/（機械台数×処理時間））を求めて機械稼働率を更新し（ステップ22）、順次、当該機械で加工する全工程の生産量の計算処理を行う（ステップ18）。ここで同一機械への割付を行う工程の順序は、生産規則3中の差立規則を用いて決定される。

## 【0036】

以上のように時間間隔ベースシミュレータ6を用いることにより高速な生産計画立案が可能になるが、時間間隔ベースシミュレータ6を用いる場合にも上で示したように生産規則3の部品投入規則や差立規則が必要である。そこで、規則生成器7を用いて規則を生成し、立案された生産計画5の品質を評価して逐次的に生産規則の改良を行うことにより、生産工程モデル2に対して適切な生産計画5を立案できる生産規則3の自動生成を実現する。規則生成器7の実現方法としてはニューラルネットワーク(C. M. Bishop, "Neural Networks for Pattern Recognition", Oxford University Press (1995))、分類子システム(P. L. Lanzi et al., "Learning Classifier System", Springer (2000))、判別木学習(J. R. Quinlan, "C4.5: Programs for Machine Learning", Morgan Kaufmann (1993))など、人工知能分野では逐次的最適化に基づく機械学習手法として数多くの手法が提案されており、その何れを用いても基本的には実現可能である。ここでは発明の一実施形態として、規則生成器7にニューラルネットワークを用いた例を説明するが、本発明の概念はニューラルネットワークを用いた実施例に限らず、規則生成器として逐次的最適化に基づいた全ての機械学習手法を包含するものである。

## 【0037】

図6は一実施例として、ニューラルネットワークを用いた部品投入規則の学習モデルの例を示している。このニューラルネットワークは機械ごともしくは生産

計画システム 1 ごとに設置される。ニューラルネットワークの入力情報としては、生産工程の状況やオーダーの状況を定量的に示すものとして適当な、在庫量、機械稼働率、納期からの遅滞量（バックオーダー）、機械で処理すべき工程の残加工時間の和、などの情報が用いられ、ニューラルネットワークの出力はそうした状況にある際に選択すべき部品投入規則（00から11の4種類の規則のいずれか）である。ニューラルネットワークの学習に際しては、当初ランダムな値が割り当てられたノード間の重み値を、シミュレーティッドアニーリングなどの逐次的最適化手法を用いて改良することにより、高品質な生産計画 5 を出力できる部品投入規則を学習する。この際、あるノードの重み集合を用いて計画された生産計画 5 の品質を評価し、重みの値に些少の変化を与えた影響により生産計画 5 の品質を改善するように重みの値を逐次的に変更していくため、数千から数万回という膨大な回数の生産計画立案処理を行う必要がある。そのため、従来の事象ベースシミュレータ 4 では現実的な規模の工場などの生産計画立案に適用することは困難であり、本発明における時間間隔ベースシミュレータ 6 が必要不可欠となる。

【 0 0 3 8 】

（第 2 の実施形態）

本実施形態では、まず製造における種々の変動に対して安定した生産を実現するために、一定時間周期でのみ工程間の中間在庫の移動を行う生産方式を提案する。そして、提案した生産方式に対するシミュレーション手法として、前述の時間間隔ベースシミュレーション 6 を適用する。更に、現実的な半導体ウェーハ製造工程（前工程）のデータを用いて、提案された生産方式に基づく時間間隔ベースシミュレーション 6 が従来のシミュレーション手法に比べて、数十倍も高速に同等な計算結果を算出することを示す。

【 0 0 3 9 】

・ CONSTIN' 生産方式

本願発明者はハイテク部品などのように、大規模複雑で変動要素が大きな製造プロセスに対して、ロバストな生産が実施可能な生産方式として、" CONSTIN' " ( Constant Time Interval) 生産方式を提言する。CONSTIN では、製造プロセスの全ての工程は同期して実施されており、中間在庫は一定周期でのみ工程間を移動す

る（図 7 参照）。しかも、1 周期での中間在庫の移動量は最大 1 工程まで、即ち次工程を越えて移動することはないものとする。

## 【0040】

CONSTIN では、ある工程に機械故障や品質不良などの変動が起きた場合でも、それらが周期内で解決されるか、前後の工程に十分な量の中間在庫が計画されていれば、当該工程を越えて変動の影響が波及することを防ぐことが可能である。したがって、CONSTIN 方式はロバストな製造実施を行うことができる生産方式であると言えることができる。

## 【0041】

しかしながら、CONSTIN は中間在庫の自由な移動を制限することによってロバスト性を改善しており、適切な運用を行わなければ貴重な生産能力（資源）を有効に活用することはできない。本実施形態では、シミュレーションにより、周期の値や各工程における在庫量を適切に設定することで、そうした問題が解決されることを示す。

## 【0042】

## ・モデル

本実施形態で扱う CONSTIN 生産方式における生産工程のモデルを以下に概説する。なお、本モデルの近似的な数学的解析に関しては Gong ら（非特許文献 2 参照）によるものがある。

## 【0043】

本実施形態では次の記号を用いて定式化を行う。

$m$  = ワークステーション台数；

$g$  = 製品数；

$n_p$  = 製品  $p$  の工程数（ただし、 $n_0 = 0$ ）；

$n$  = 全製品の工程数の和；

$c = (c_1, c_2, \dots, c_m)^T$ , 1 周期におけるワークステーションの生産能力；

$s_i$  = 工程  $i$  における処理時間；

$S = m \times n$  処理時間行列；工程  $i$  がワークステーション  $k$  で処理されるとき  $(k, i)$  要素の値は  $s_i$ 、他の場合は 0；

$r_p(t)$  =製品 $p$ の周期 $t$ における投入量；

【 0 0 4 4 】

【外 1】

$x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))^T$ , 周期  $t$  における工程

$i (1 \leq i \leq n)$  の生産開始量；

【 0 0 4 5 】

【外 2】

$w(t) = (w_1(t), w_2(t), \dots, w_n(t))^T$ , 周期  $t$  における工程

$i (1 \leq i \leq n)$  の中間在庫量；

【 0 0 4 6 】

【外 3】

$z(t) = (z_1(t), z_2(t), \dots, z_n(t))^T$ , 周期  $t$  における工程

$i (1 \leq i \leq n)$  の生産量；

【 0 0 4 7 】

【外 4】

$u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_n(t))^T$ , 周期  $t$  における工程

$i (1 \leq i \leq n)$  のリワーク量；

【 0 0 4 8 】

【外 5】

$v(t) = (v_1(t), v_2(t), \dots, v_n(t))^T$ , 周期  $t$  における工程

$i (1 \leq i \leq n)$  のスクラップ量；

【 0 0 4 9 】

CONSTIN方式における周期毎の中間在庫の推移は、以下のように表される。

・ 工程 $i$ が先頭工程の場合

【 0 0 5 0 】

【数1】

$$w_i(t+1) = w_i(t) + r_p(t) - (z_i(t) - u_i(t))$$

【0051】

上記以外の場合

【0052】

【数2】

$$w_i(t+1) = w_i(t) + (z_{i-1}(t) - u_{i-1}(t) - v_{i-1}(t)) - (z_i(t) - u_i(t))$$

【0053】

周期毎の生産開始量、生産量はその時点での中間在庫量を上回れないため、以下の関係が成り立つ。ただし、工程におけるリードタイムが設定された周期より長い場合などの場合は、生産開始量が生産量よりも常に大きいとは限らない。

【0054】

【数3】

$$x_i(t) \leq w_i(t)$$

【0055】

【数4】

$$z_i(t) \leq w_i(t)$$

【0056】

また、ワークステーションの生産能力は有限であり、それを越えて生産を開始することは不可能であるため以下の制約が成り立つ。

【0057】

【数5】

$$Sx(t) \leq c$$

【0058】

・シミュレーション手法

CONSTIN生産方式では、従来の事象駆動型シミュレーションのように生産プロ

セスで起きる全ての事象による状態変化を逐一計算するのではなく、周期毎に各工程における中間在庫量の推移を計算するだけで生産工程のシミュレーションが行える。したがって、従来のシミュレーション手法に比して著しい計算速度の向上が期待され、大規模複雑なハイテク部品の生産工程のシミュレーション手法として有効であると考えられる。

【0059】

・シミュレーション方法の概要

CONSTIN方式のシミュレーションは、数6に記すループを実行することによって実施される。

【0060】

【数6】

```
initializeData();
t = 0;
while (t <= EndOfSimulation) {
    runForPeriod();
    t = t + Period;
}
```

【0061】

その際に設定すべきパラメータは、CONSTINの周期を決定するPeriod定数とシミュレーション時間を決めるEndOfSimulation定数である。前者を決定するための目安については後で述べる。後者のシミュレーション時間の決定に当っては、シミュレーション結果が定常状態に安定するために必要なだけの時間を設定する必要がある。したがってPeriodの値が大きいほど、EndOfSimulationも大きな値を設定する必要がある。

【0062】

シミュレーションの中核部であるrunForPeriod関数では、数7に記すように各ワークステーションにおける中間在庫の推移に関する計算が行われる。

【0063】

先頭工程におけるシミュレーション時間tにおける中間在庫量は、事前の中間在庫量に新たな投入量を加えたものになる。この投入規則数7中の releaseRule

関数)を変更することにより、CONSTINはMRP的なプッシュ型の生産やCONWIP(非特許文献3参照)的なプル型の生産を実現することができる(非特許文献9)。

【0064】

【数7】

```
for (each workstation in the fab) {
  for (each step of the workstation) {
    wip = WIP waiting at step;
    if (step is the first process)
      wip = wip + releaseRule(step);
    demand = wipTransferRule(wip, step);
  }
  sortingRule(steps of the workstation);
  for (each step in the sorted order) {
    calcProduction(step);
  }
}
```

【0065】

各工程における中間在庫の内、現周期でどれだけの量をワークステーションで処理するかを決定する規則が数7中の*wipTransferRule*関数である。ここでは、当該工程の前後の工程における中間在庫の量や、現時点までの製品の完成量、前後の工程におけるワークステーションの稼働状況などを考慮して、できるだけ平準的な生産が行われるように、各工程における中間在庫の推移量を決定する必要がある。

【0066】

各工程における中間在庫の内、現周期で処理すべき量が決定された後、数7中の*sortingRule*関数で、ワークステーションにおける各工程の優先順位に基づき、各工程の処理順序が決定される。この順序の後方の工程は、ワークステーションの処理能力の限界により現周期では処理されないことがあり得る。各工程の優先順位の決定は、従来のディスパッチング規則を適用することも可能である。ワークステーションで処理されるべき各工程の中間在庫量とその処理順序が決定した後は、数7の*calcProduction*関数で、工程のタイプ(ロット生産、バッチ生産など)に応じて、それらの処理に必要なワークステーションの能力や時間が計算され、ワークステーションの稼働状況、各工程における中間在庫量などの値が更

新される。

【0067】

・周期パラメータの設定

CONSTIN方式でシミュレーションを実行するに当って、予め決定する必要がある重要なパラメータはPeriod定数である。Periodの値を大きく取って、定常状態に至るまでシミュレーションを行えば、変動要因に対するロバスト性は高いものの、工程内に多くの中間在庫を抱える結果となり、逆にPeriodの値を小さくするとロバスト性は低くなり、シミュレーションの計算速度も低下する。したがって、適切なPeriodの値はシミュレーションの目的に応じて設定する必要がある。ただし、用途に応じて値を決定する際の基準となるPeriodの値は以下のように求めることができる。

【0068】

$r$ を投入レート、 $l_i$ をワークステーション当りの工程数、 $d$ をPeriodの値とすると、定常状態におけるワークステーションでの1周期における生産量 $z_i$ は、 $z_i = r l_i d$ となる。CONSTINでは生産量は中間在庫量よりも常に小さい

【0069】

【外6】

$(\sum_{i=1}^m z_i \leq w)$  ので、 $\sum_{i=1}^m r l_i d \leq w$  が成り立つ。

【0070】

一方、サイクルタイムの値を $y$ とすると、定常状態ではスループットの値は $r$ に等しいので、待ち行列に関するLittleの公式（非特許文献4）より、 $w = ry$ が成り立ち、上の不等式から

【0071】

【外7】

$d \leq y / \sum_{i=1}^m l_i$  となる。

【0072】

1の値は生産工程のモデルから明らかであるが、サイクルタイムには行程での



理時間に加えて待ち時間が含まれるため、一般にその値 $y$ は不明である。しかし、サイクルタイムは工程における生産リードタイムよりも常に大きいので、

【0073】

【外8】

$y \geq \sum_{i=1}^m S_i$  が成り立ち、 $d \leq \sum_{i=1}^m S_i / \sum_{j=1}^m L_j$  となる。

【0074】

以上のことから、実際の生産工程におけるリードタイムとサイクルタイムの過去の相関などの情報が無い場合には

【外9】

$y = \alpha \sum_{i=1}^m S_i$  (ただし、 $\alpha \approx 2$ ) などと仮定して、 $d = \alpha \sum_{i=1}^m S_i / \sum_{j=1}^m L_j$  を Period パラメータの基準値とすることが妥当である。

【0075】

・半導体ウェーハ処理工程への適用

CONSTIN生産方式とそれに基づくシミュレーション手法の有効性を検証するため半導体ウェーハ処理工程のデータを用いて数値実験を行った。使用したのはアリゾナ州立大学のMASMラボで公開されているSEMATECHのベンチマーク問題で、MASMラボのホームページ (<http://www.was.asu.edu/%7Emasmlab/home.htm>) から入手できる。

【0076】

本実施形態で取り上げた問題の概要を表1に示す。ただし、比較のために用いた事象駆動型シミュレータにおけるモデリング上の制限から、問題データの一部にベンチマーク問題から最小限の変更を加えた。

【0077】

【表1】

## テスト問題の概要

製品タイプ	不揮発性メモリ
プロセスフロー数	2
品種数	2 (1品種1フロー)
ワークステーション種類	83
ワークステーション数	265
工程数	210(製品A) 245(製品B)
総処理時間	313.4時間 (製品A) 358.6時間 (製品B)
需要量	380.95枚/日 (製品A) 190.48枚/日 (製品B)

【0078】

## ・シミュレーション条件

本実施形態ではCONSTIN生産方式及び、そのシミュレーションの基本的な性能検証を行うため、以下の仮定の上で実験を行った：(1)工程における処理時間は一定、(2)段取り時間は考慮しない、(3)作業員は考慮しない、(4)機械故障、廃棄、再加工などは生じない。したがって、本実施形態におけるシミュレーションには確率的な要素は含まれない。

【0079】

今回の実験では、シミュレーションを実施する際のreleaseRuleとしては、需要量に基づいたコンスタントな投入規則を、wipTransferRuleとしては、全ての未処理の中間在庫を処理する規則を、sortingRuleとしては投入レートと処理時間で正規化した上で、処理すべき中間在庫の多い工程を優先する規則を用いた。

【0080】

Periodパラメータに関しては、本実験ではウェーハ1枚当りの総処理時間の平均値は約8862分、平均工程数は221.7となるので、

【0081】

【外10】

ただし、 $\alpha \approx 2$ として

## 【0082】

Periodの値を80分と設定した。EndOfSimulationパラメータの値としては、シミュレーション結果が十分に定常状態に達するよう6ヶ月とし、その最後の1ヶ月間における結果の分析、検討を行った。

## 【0083】

## ・シミュレーション結果と考察

本実施形態で提案したシミュレーション手法の有効性を検証するために、市販の事象駆動型シミュレータであるBrooks Automation社のAutoSched APを用いて、シミュレーション結果の比較を行った。その比較結果を表2に示す。これらの結果より、シミュレーション結果に関しては、中間在庫以外は両者の結果はほぼ同等であると言える。

## 【0084】

【表2】

シミュレーション結果の比較

	CONSTIN	AutoSched
生産量 (製品A)	237	239
(製品B)	122	120
中間在庫 (製品A)	157	101
(製品B)	85	62
平均稼働率(%)	37.9	38.0
計算時間(sec.)	4.5	106

## 【0085】

中間在庫量に関しては、CONSTIN方式は一定周期の期間中、在庫の移動が禁じられるため中間在庫量が大きくなるのは当然であり、そうした中間在庫の存在がCONSTINにおけるロバスト性向上の要因である。したがって、Periodの値を設定する際には、中間在庫の大きさと生産のロバスト性のトレードオフを考慮する必要がある。

## 【0086】

図8にシミュレーション結果によるPeriodの値の変化による中間在庫量の変化の様子を示す。この図から明らかなように、中間在庫の量はPeriodの値に応じて

ほぼ線形に増加する。

【0087】

製品pの中間在庫量を $W_p$ とすると、

【0088】

【数8】

$$\begin{aligned} W_p(t) &= \sum_{i=1}^{n_p} w_i(t) \\ &= \sum_{i=1}^{n_p} (w_i(t-1) + z_{i-1}(t-1) - z_i(t-1)) \\ &= \sum_{i=1}^{n_p} z_{i-1}(t-1) + \sum_{i=1}^{n_p} (w_i(t-1) - z_i(t-1)) \end{aligned}$$

【0089】

が成り立つ。今、 $t$ が十分大きな値を取ると、シミュレーションは定常状態に達するため、投入量と生産量は等しくなり、在庫量は一定になる。したがって、

【0090】

【外11】

$\sum_{i=1}^{n_p} z_{i-1}(t-1)$ の値は Period 時間での全工程における投入量の和に、

$\sum_{i=1}^{n_p} (w_i(t-1) - z_i(t-1))$ は比較的小さな定数に収束する。

【0091】

したがって、Periodの値が大きい場合は、

【0092】

【数9】

$$\bar{W}_p \approx \bar{r}_p n_p \text{Period}$$

【0093】

が成り立ち、この値は図8に示すようにシミュレーション結果と良く一致する

【0094】

処理速度の点では、Pentium（登録商標）3(1.2GHz)搭載のPCを用いて6ヶ月間のシミュレーションを行う際に必要とされた計算時間は、CONSTIN方式ではわずか5秒足らずで、市販の事象駆動型シミュレータのAutoSchedに比べて20倍以上も高速である。CONSTINではPeriodの値を大きくすると計算速度はほぼ線形に増加するためfootnote実験ではPeriod値を480とすると、計算時間は約1秒となった。Periodの値を適切に設定することにより、リアルタイム性が要求される用途にもシミュレーションの適用が可能である。

## 【0095】

## ・まとめ

多くの変動要因を持つ半導体などの製造工程では、在庫を削減しすぎるとスムーズな生産は不可能となる。しかしながら、在庫コントロールを適切に行わないと、リードタイムの悪化や死蔵在庫の増加という結果となる。本実施形態で述べたCONSTINは、製造工程内の変動の大きさを中間在庫の移動周期に置き換えて考えることにより、各工程における適切な中間在庫量を算出することができる。そして、その中間在庫量を維持するように、各工程の生産制御を行うことにより製造工程全体のロバスト性を保つことができる。

## 【0096】

更に、CONSTIN手法に基づく高速なシミュレーションにより、きめ細かな解析が可能となり、適切な投入レートやプロダクトミックスの設定、Period期間内では解決できない機械故障が起きたときの対策の検討などが、シミュレーションにより高精度に実施できる。

## 【0097】

上述の生産方法を実現するための生産システムの構成を図9に示す。図9において、100は製品の製造を製造工程に沿って行う生産設備である。110は生産設備の製造工程を制御する制御システムであり、少なくとも1つのコンピュータシステムを有する。この制御システム110の中に本発明にかかわる制御用プログラムが記憶されている。制御用プログラムは記録媒体に記録しておき、記録媒体から制御システム110にインストールすればよい。

## 【0098】

制御システム110が上記制御プログラムにより実行する処理内容について図10を参照して説明する。

【0099】

制御システム110は一定周期で図10の処理手順（数6の関数で定義された処理）を繰り返し実行する。制御システム110は、生産設備の製造工程の生産状態を示す種々のパラメータ、たとえば、材料の投入量等を初期設定して、数7に示す関数により製造工程内における各工程の中間在庫量を計算する（ステップS10→S20）。なお、初期設定値は人手によりキーボード等から予め入力しておけばよいし、生産設備の生産に関する種々のパラメータを測定して、その測定結果を制御システム110に自動入力してもよい。

【0100】

次に制御システム110は中間在庫量の計算結果と予め定めた許容値を比較する（ステップS30）。中間在庫量の計算結果が許容値の範囲以下に収まる場合には、実際の製造工程内の中間在庫量がそこで設定された中間在庫量に等しくなるように、生産設備110を制御する（ステップS50）。

【0101】

一方、中間在庫推移量が許容範囲以下に収まらない場合には、上記計算結果が許容範囲内に収まる方向に計算に使用するパラメータを予め定めた所定の値だけインクリメント（増加）またはデクリメント（減少）する（ステップS40）。

【0102】

具体的には、中間在庫量が許容範囲よりも小さい場合には、製品の生産を増大させるように材料等の投入量を増やすようにパラメータを変更する。

【0103】

このパラメータの値に基づき生産設備100の製造工程を制御する（ステップS50）。以下、制御システム110は周期ごとに、生産制御（ステップ50）の処理を実行すると、製品の生産量が増大し、中間在庫推移量が減少する。これにより、POP(Point of Production)システムなどの生産実施状況をリアルタイムで計測する計測装置（図1の制御装置110内に設置）を用いてカウントされた各工程内に存在する中間在庫量が、ステップ20で設定された中間在庫量の

計算結果と等しくなった場合、生産設備100の製造工程の生産が停止する。そして、次の周期になると、再びステップ50の生産制御が実行され、生産設備の製造工程の生産が再開される。このような制御処理を行うことにより、制御システム110は中間在庫量を常に一定に保つように生産をおこなう。以下、このような制御を一定周期で繰り返し実行する。なお、上述の中間在庫量を計算するためのシミュレーション（このためのプログラムがシミュレーターの機能を果たす）において、第1の実施形態に記載の時間間隔ベースシミュレータおよび規則生成器の機能を制御システム110に持たせ、制御システム110は規則生成器により生成された生産規則を使用して製造工程の中間在庫量を繰り返し計算するとよい。

【0104】

（用語の定義および意味）

a. 中間在庫

生産工程内に存在する材料及び仕掛品のこと。これには、完成品の在庫は含まれない。

【0105】

b. 中間在庫の移動量（推移量）

生産は中間在庫が各工程を「移動」することにより進捗する。したがって、中間在庫の移動量は、1周期当りに工程において処理される中間在庫の量を意味する。

【0106】

c. ワークステーション

生産機械（例えば、ステッパー、ドライエッチング装置など）のこと。

【0107】

d. 製品の投入量

（需要予測に基づいた）計画に基づいて製品を生産するために、工程に投入される材料の量。投入レートは単位時間当りの投入量で、計画ではこれが需要レート（単位時間当りの需要量）と一致するように計画されるのが一般的である。

【0108】

e. 製造工程内の変動

本願では、主に故障などによる機械の稼働率、および歩留まり（全生産量における良品の割合）の変動。

【0109】

f. 移動周期

中間在庫が移動を行う周期。

【0110】

g. ロバスト

日本語では「頑健性」と訳すことが多い。先に説明した変動が生じても、当初の計画通りに生産を実行していくことができる能力を意味する。

【0111】

h. トレードオフ

複数の要件がある時に、妥協を得るために探る折り合いのこと。

【0112】

i. プロダクトミックス

一つの生産工程で、複数の製品を生産する際に、その生産比率のこと。

【0113】

上述の実施形態は特許請求の範囲に記載された発明を理解するために例示されたものである。したがって、上記発明を実施するにあたっては、上述の実施形態以外にも種々の変形が存在するが、その変形が特許請求の範囲に記載された発明の技術思想に基づくものである限り、その変形は本発明の技術的範囲内となる。

【0114】

【発明の効果】

以上、説明したように、本発明によれば、高速な時間間隔ベースシミュレータを用いることにより、生産計画の対象とする生産工程、プロダクトミックス、生産量に対して、適切な生産規則（部品投入規則等）を自動的に生成することができ、大規模な半導体などの生産工程に対しても高品質な生産計画を立案することが可能になる。

【0115】



また、本発明によれば、中間在庫量が許容範囲内に向かうように製造工程が生産制御されるので、生産過程において無駄な中間在庫（部材の在庫）が発生しない。また、これにより生産効率が大幅に向上する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明に係る生産計画システムの一実施の形態を示したブロック構成図である。

【図 2】

時間間隔シミュレータの処理概要を示したフローチャートである。

【図 3】

生産工程モデルと生産計画に含まれる製品、工程、機械に関する具体的情報の内容を示す図である。

【図 4】

時間間隔ベースシミュレータの実行の様子を時間軸上に表した図である。

【図 5】

生産状況更新の処理概要を示すフローチャートである。

【図 6】

ニューラルネットワークを用いた部品投入規則の学習モデルの一例を示す図である。

【図 7】

工程におけるWIPの周期的推移を示す図である。

【図 8】

PeriodによるWIPの推移を示す図である。

【図 9】

第2実施形態のシステム構成を示すブロック図である。

【図 10】

生産システムの処理手順を示すフローチャートである。

【符号の説明】

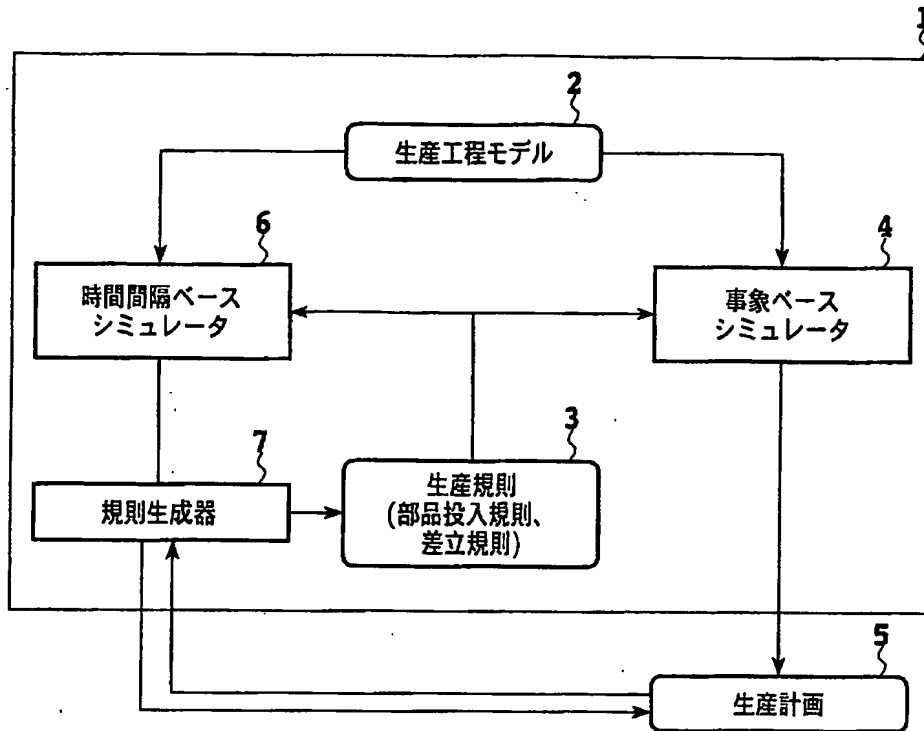
1 生産計画システム

- 2 生産工程モデル
- 3 生産規則
- 4 事象ベースシミュレータ
- 5 生産計画
- 6 時間間隔ベースシミュレータ
- 7 規則生成器

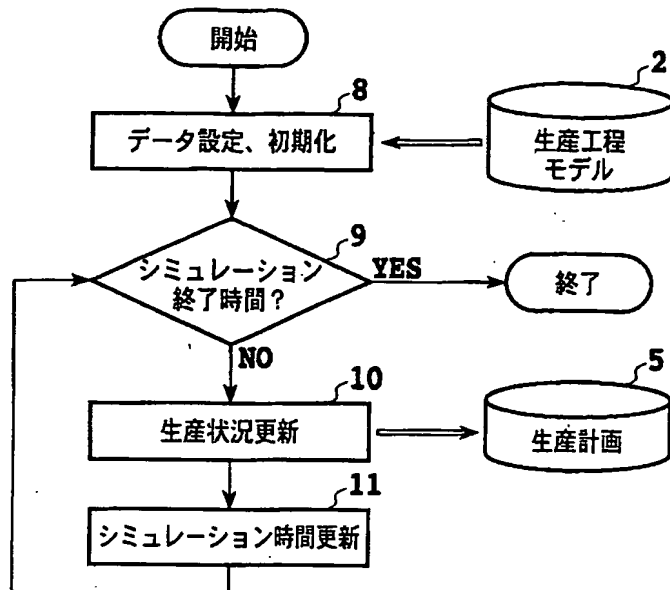
【書類名】

図面

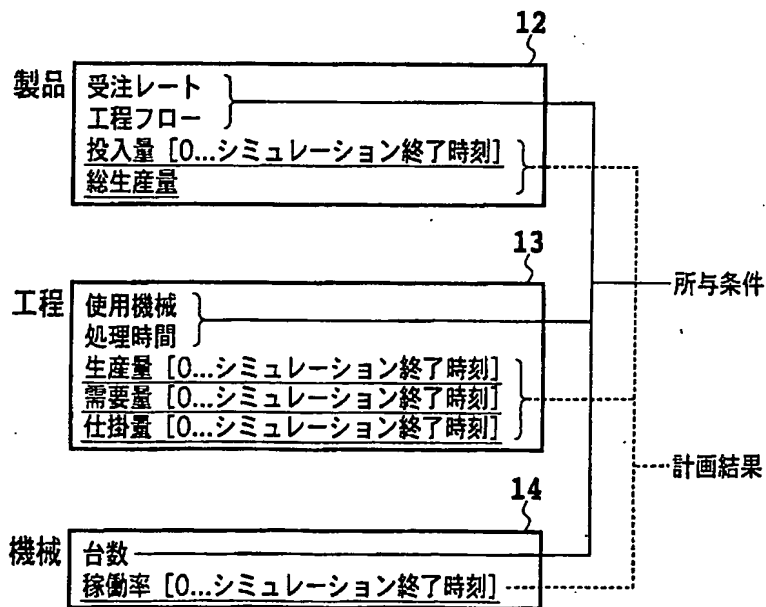
【図1】



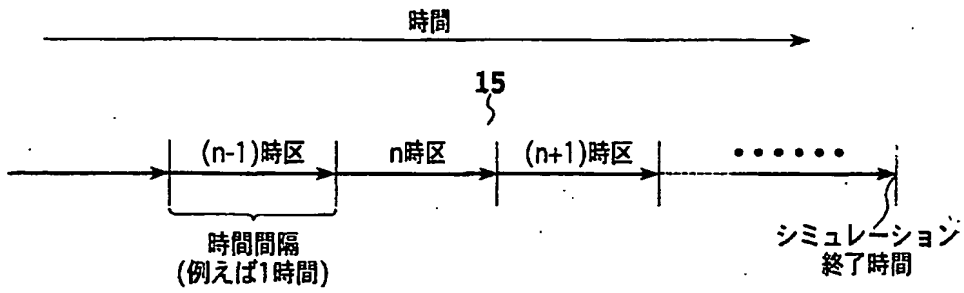
【図 2】



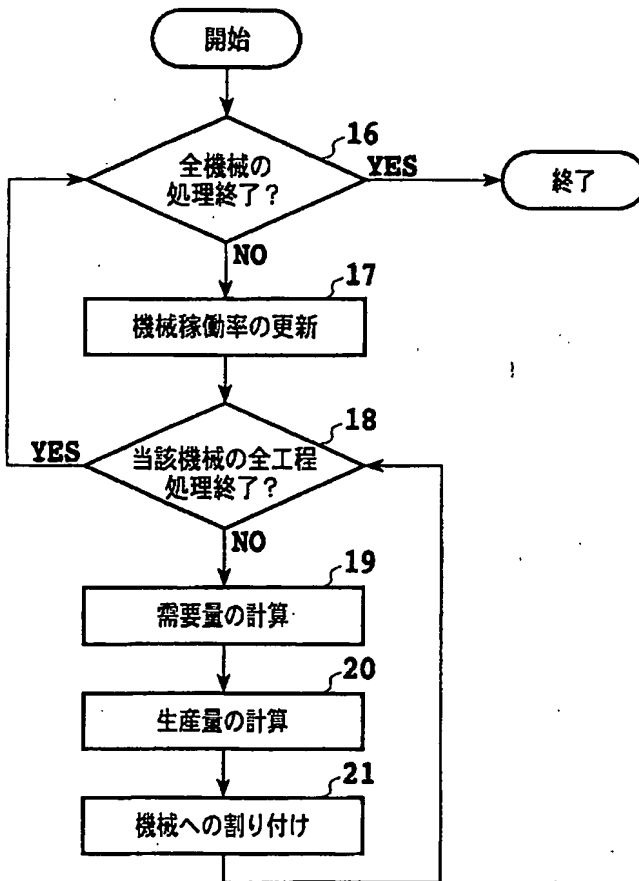
【図 3】



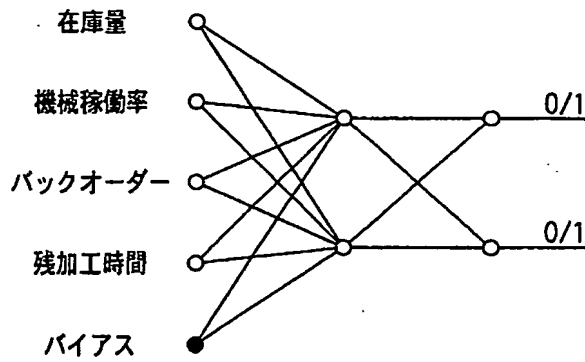
【図4】



【図5】



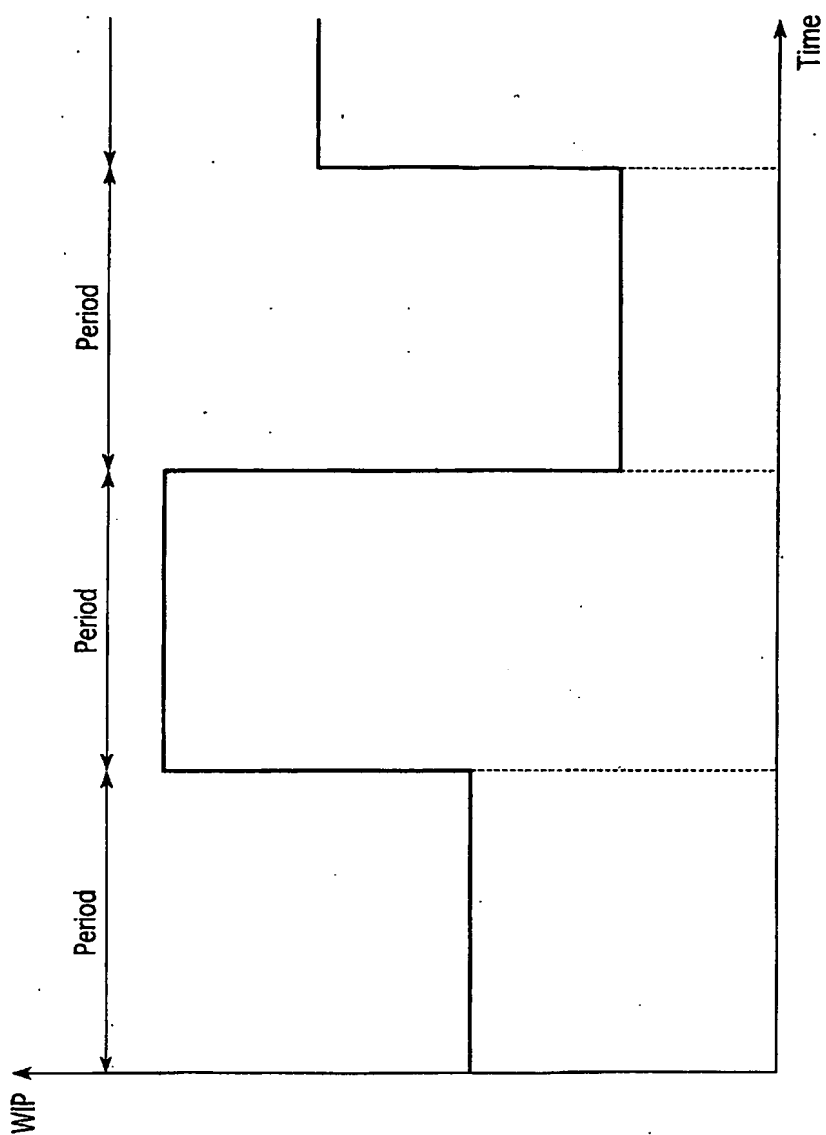
【図 6】



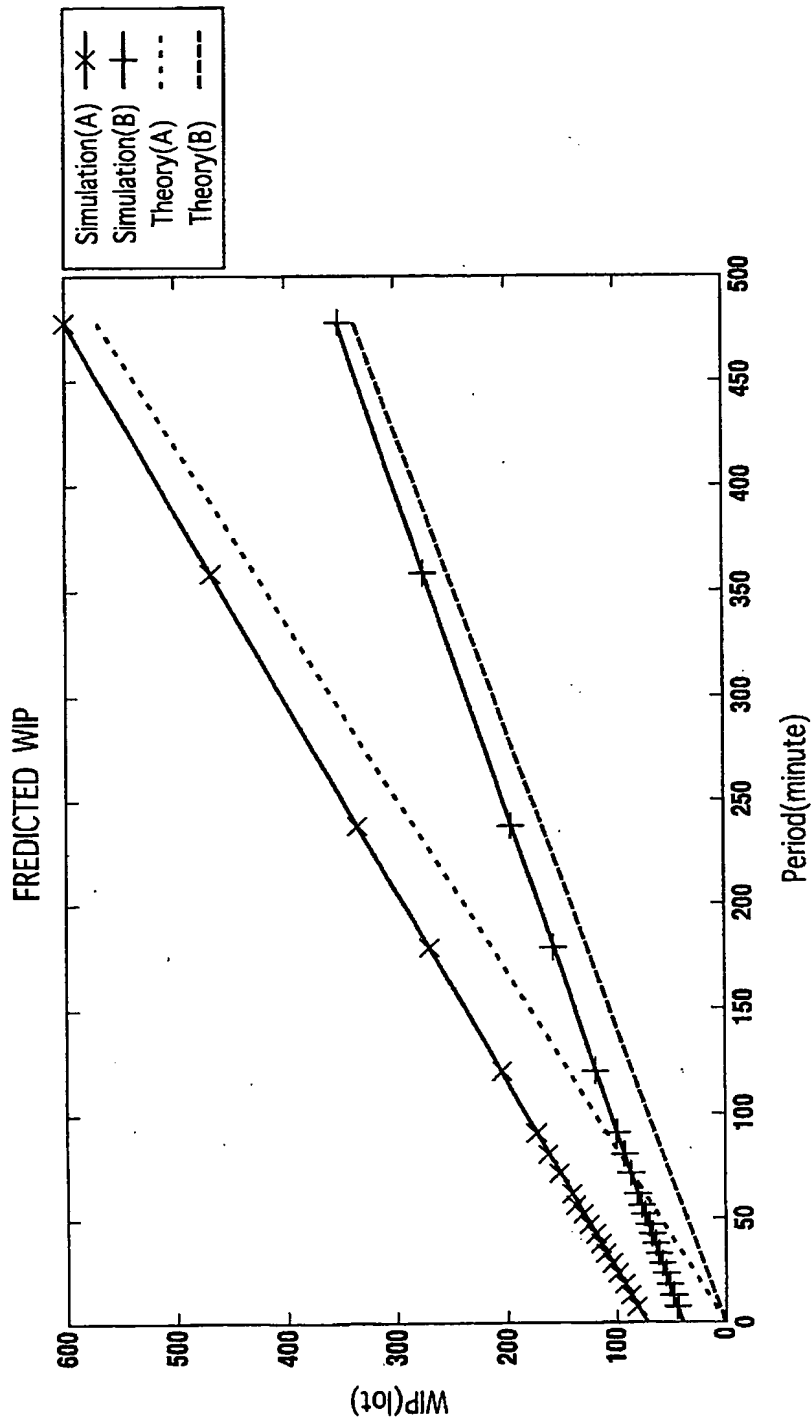
投入  
規則

- 00: 投入なし
- 01: 平均需要レート投入
- 10: 在庫一定投入
- 11: 平均需要レート + 在庫一定投入

【図7】

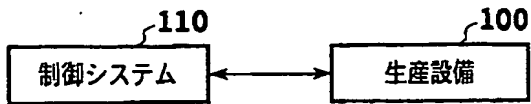


【図 8】

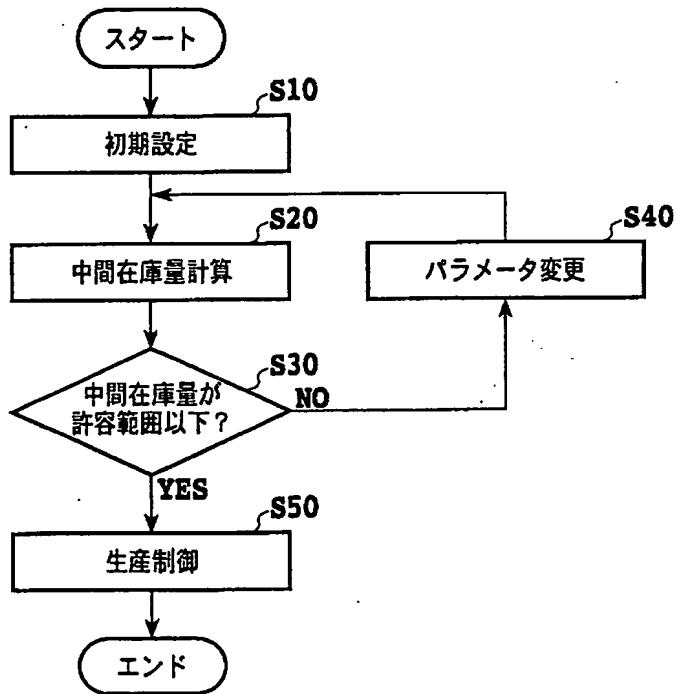




【図 9】



【図 10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 生産規則を高速に自動生成して高品質な生産計画を立案する。

【解決手段】 本発明は、生産工程モデル 2 及び生産規則 3 を用いて、事象ベースシミュレータ 4 が工場内の製品の動きをシミュレートすることにより生産計画 5 の立案を行う。一定時間ごとの生産工程の状況を計算する時間間隔ベースシミュレータ 6 と、該時間間隔ベースシミュレータ 6 を用いて生産規則 3 を自動的に導出する規則生成器 7 とを備える。この時間間隔ベースシミュレータ 6 を用いて生産計画を高速に幾度も繰り返し立案することにより、規則生成器 7 が逐次的最適化手法に基づく機械学習を応用して、生産規則 3 を効率的に自動生成することができ、これにより生成された生産規則 3 を用いて事象ベースシミュレータ 4 が高品質な生産計画 5 を立案する。

【選択図】 図 1

特2002-294665

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2002-294665
受付番号	50201513031
書類名	特許願
担当官	第七担当上席 0096
作成日	平成14年10月11日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成14年10月 8日
-------	-------------

次頁無

特2002-294665

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [301021533]

1. 変更年月日 2001年 4月 2日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都千代田区霞が関1-3-1  
氏 名 独立行政法人産業技術総合研究所